

М. Е. Зязев, Е. С. Лямпасова, А. Ю. Коняев

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург

zyacho72@gmail.com

УЛУЧШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСТАНОВОК НА ОСНОВЕ ЛИНЕЙНЫХ ИНДУКЦИОННЫХ МАШИН С МОДУЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИЕЙ ИНДУКТОРОВ

Представлены результаты исследования устройств на основе линейных индукционных машин. Показаны пути улучшения их характеристик.

Ключевые слова: *линейные индукционные машины; несимметрия токов; результаты исследований.*

M. E. Zyazev, E. S. Lyampasova, A. Yu. Konyaev

Ural Federal University, Ekaterinburg

IMPROVEMENT OF ENERGY CHARACTERISTICS OF TECHNOLOGICAL INSTALLATIONS BASED ON LINEAR INDUCTION MACHINES WITH MODULAR DESIGN OF INDUCTORS

The results of a study of devices based on linear induction machines are presented. Shown are ways to improve their performance.

Key words: *linear induction machines; asymmetry of currents; research results*

Одним из направлений развития электромеханики является разработка и создание линейных индукционных машин (ЛИМ) технологического назначения. Основной особенностью таких машин является то, что роль их вторичного элемента (ВЭ) играют обрабатываемые изделия и материалы (например, сыпучие материалы в электродинамических сепараторах, жидкие металлы в МГД-установках, прокатные изделия в транспортно-технологических

устройствах и т. п.) [1–2]. Очевидно, что параметры таких ВЭ не являются предметом выбора. В то же время в конструкциях индукторов ЛИМ могут применяться решения, не используемые в традиционных электрических машинах. Одним из таких решений является модульное построение индукторов. В УрФУ исследуются устройства на основе таких ЛИМ. Некоторые результаты исследований приводятся в докладе.

Для исследований выбраны двухполюсные линейные индукторы мощностью до 3 кВА с полюсным делением 66 мм и размерами активной зоны 132×150 мм. Такие индукторы составляли основу опытно-промышленной установки для электродинамической сепарации электронного лома. Наличие трех одинаковых индукторов позволяет использовать различные схемы включения отдельных модулей в технологической установке. Предметом исследований являлись электрические параметры линейных индукторов (напряжения, токи и мощности фаз), определение которых осуществлялось измерительным комплектом К-505. По результатам измерений рассчитывались сопротивления фаз и коэффициенты мощности. Уровень несимметрии токов оценивался путем расчета относительного отклонения тока фазы от среднего значения по формуле

$$\delta_I = 100 \cdot \frac{I_\phi - I_{cp}}{I_{cp}}.$$

Результаты измерений и расчетов для одного из двухполюсных индукторов представлены в табл. 1.

Таблица 1

Электрические параметры одного модуля индуктора ЛИМ

Фаза	U_ϕ , В	I_ϕ , А	P , Вт	$\cos \varphi$	δ_I , %	Z_ϕ	R_ϕ	X_ϕ
А	85,50	7,90	175,00	0,259	2,60	10,82	2,80	10,45
В	81,50	8,40	–10,00	–0,015	9,09	9,70	–0,14	9,70
С	77,50	6,80	40,00	0,076	–11,69	11,40	0,87	11,36
Среднее значение	81,50	7,70	68,33	0,109		10,57	1,18	10,51

Аналогичные измерения, выполненные на двух других модулях, показали наличие некоторых отклонений параметров, обусловленных

технологическими погрешностями, однако, в целом такие отклонения не превышали 1 %. Данные табл. 1 подтверждают наличие существенной несимметрии фазных токов в индукторах ЛИМ, обусловленной наличием разомкнутого магнитопровода и разным расположением катушек отдельных фаз по отношению к краям индуктора. Как видно из табл. 1, наибольшее значение тока получается в фазе В, катушки которой смещены от центра к выходному краю индуктора. Минимум тока наблюдается в фазе С, катушки которой располагаются в центральной части индуктора. Как известно, несимметрия токов приводит к увеличению потерь в кабельных линиях и недоиспользованию трансформаторов.

Следует отметить, что многие ЛИМ технологического назначения работают с повышенными немагнитными зазорами, либо с открытой магнитной системой (как в нашем случае). Этим обусловлен низкий коэффициент мощности (для нашего модуля $\cos \varphi = 0,11$). Как отмечалось в [3], возможности повышения $\cos \varphi$ установок ограничиваются несимметрией токов фаз индуктора.

Из сказанного вытекает, что для улучшения энергетических показателей рассматриваемых установок необходимо выравнивание токов отдельных фаз. Идеальным решением является транспозиция фаз при использовании в установках линейных индукторов, состоящих из трех одинаковых модулей. Результаты экспериментальной оценки этого варианта представлены в табл. 2.

Таблица 2

Электрические параметры ЛИМ, состоящей из трех модулей с применением транспозиции фаз

Фаза	U_{ϕ} , В	I_{ϕ} , А	P , Вт	$\cos \varphi$	δ_I , %
А	252,00	8,00	235,00	0,117	1,27
В	255,00	7,90	230,00	0,114	0,00
С	256,00	7,80	230,00	0,115	-1,27
Среднее значение	254,33	7,90	231,67	0,115	

Как видно из табл. 2, транспозиция фаз позволяет выровнять токи. Имеющиеся отклонения связаны с разбросом параметров отдельных модулей, обусловленным технологическими погрешностями.

Применение ЛИМ, состоящих из трех одинаковых модулей, не всегда возможно, поэтому представляет интерес установка с двумя модулями с разными вариантами перестановки фаз. По результатам экспериментов можно отметить, что любая перестановка фаз приводит к уменьшению несимметрии токов. Лучший результат достигнут при использовании схемы включения AZBXCY (первый модуль) и BXCYAZ (второй модуль). Результаты показаны в табл. 3. Нетрудно видеть, что уровень несимметрии токов в ЛИМ снизился до 3–5 %.

Таблица 3

Электрические параметры ЛИМ, состоящей из двух модулей с применением перестановки фаз

Фаза	U_{ϕ} , В	I , А	P , Вт	$\cos \varphi$	δ_I , %
А	174,00	8,00	280,00	0,201	–3,23
В	184,00	8,70	180,00	0,112	5,24
С	172,00	8,10	20,00	0,014	–2,02
Среднее значение	176,67	8,27	160,00	0,110	

Таким образом, в ходе экспериментальных исследований показано, что за счет использования модульного построения линейных индукторов возможно уменьшение несимметрии фазных токов в ЛИМ технологического назначения и соответствующее повышение их энергетических показателей.

Список использованных источников

1. Линейные индукционные машины со встречно бегущими магнитными полями для энергоэффективных технологий / А. Ю. Коняев, Б. А. Сокунов, Ж. О. Абдуллаев, Е. Л. Швыдкий // Промышленная энергетика. 2017. № 4. С. 2–7.
2. Исследование двухцелевых линейных индукционных машин / А. Ю. Коняев, Ж. О. Абдуллаев, М. Е. Зязев, И. А. Коняев // Вестник Пермского национального исследовательского университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. 2018. № 28. С. 108–121.
3. Коняев А. Ю., Коняев И. А., Назаров С. Л. Повышение энергоэффективности электродинамических сепараторов на стадии проектирования // Промышленная энергетика. 2014. № 4. С. 22–26.